

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-202144

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月30日

(51) Int.Cl.<sup>8</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 6/13

C 0 2 B 6/12

M

// C 0 9 K 9/02

C 0 9 K 9/02

B

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-3693

(22) 出願日 平成10年(1998) 1月12日

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 浜田 智之

茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株

式会社日立製作所日立研究所内

(74) 代理人 弁理士 高橋 明夫 (外1名)

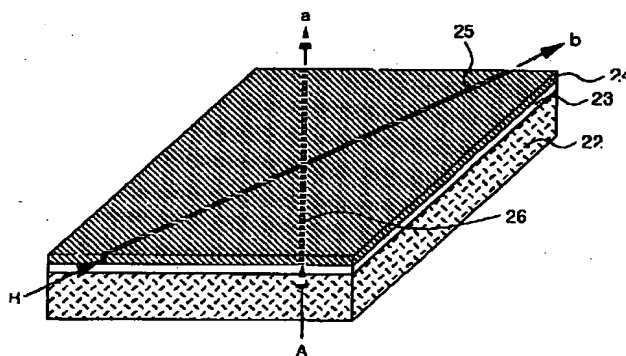
(54) 【発明の名称】 光配線用材料およびその光配線方法並びにこれを用いた光導波路

(57) 【要約】

【課題】 光インターコネクション用光導波路の提供。

【解決手段】 屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記の有機高分子層の高屈折率層中に光照射により分極率が増大するフォトクロミック分子が少なくとも2種含まれており、これに露光マスクを介して露光を2回以上行うことで光導波路コア25、26が2本以上交差した高屈折率交差光導波路を有する光導波路。

図 4



22...ガラス基板 23...下部クラッド層  
24...コア層 25, 26... 1ア

BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記の有機高分子層の高屈折率層中に光照射により分極率が增大する分子が、少なくとも2種含まれていることを特徴とする光配線用材料。

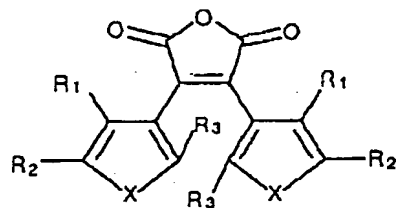
【請求項2】 前記光照射により分極率が增大する分子が、光照射により分子構造が異性化するフォトクロミッ

ク分子である請求項1に記載の光配線用材料。

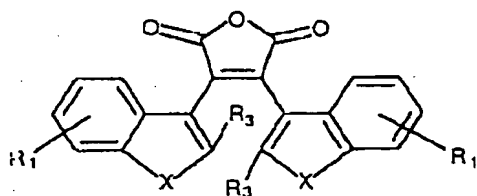
【請求項3】 前記高屈折率層が、可視光照射により異性化するフォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子とを含む請求項1に記載の光配線用材料。

【請求項4】 前記が、下記〔化1〕～〔化3〕

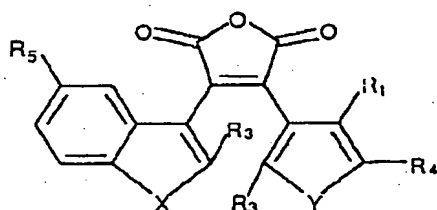
【化1】



…〔化1〕



…〔化2〕



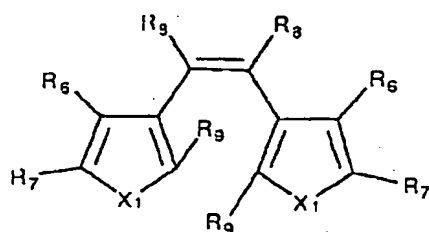
…〔化3〕

〔XおよびYは酸素原子，硫黄原子，セレン原子またはNR基（Rはアルキル基）、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>は水素原子，アルキル基，アルコキシ基，アリール基，アリールオキシ基，アミノ基，ピロリル基，フリル基またはハロゲン原子、R<sub>3</sub>はアルキル基、R<sub>4</sub>は水素原子，シアノ基またはアリールオキシ基、R<sub>5</sub>は水素原子またはアルコキシ基である〕で表されるジアリールエテン系フォトクロミッ

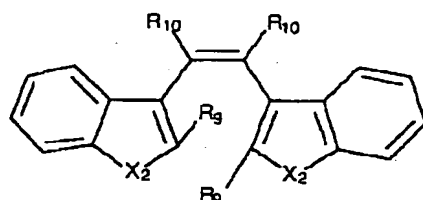
ク分子である請求項3記載の光配線用材料。

【請求項5】 前記紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子が、下記〔化4〕～〔化6〕で表されるジアリールエテン系フォトクロミック分子、あるいは〔化7〕および〔化8〕で表されるフルギド系フォトクロミック分子

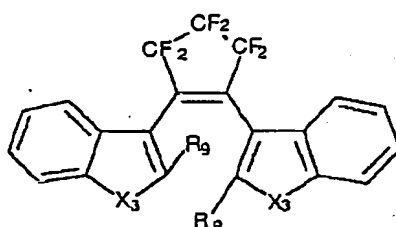
【化2】



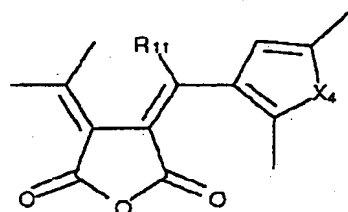
…〔化4〕



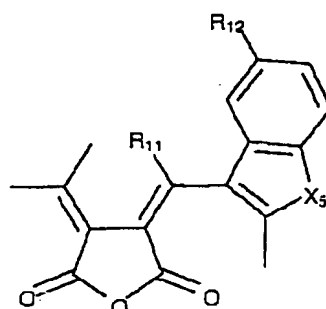
…〔化5〕



…〔化6〕



…〔化7〕



…〔化8〕

〔R<sub>6</sub>およびR<sub>7</sub>は水素またはアルキル基、R<sub>8</sub>はアルキル基またはシアノ基、X<sub>1</sub>はO、S、Se原子またはNR基（Rはアルキル基）、R<sub>10</sub>はシアノ基、X<sub>2</sub>はO、S原子およびNR基、R<sub>9</sub>はアルキル基、X<sub>3</sub>はS原子またはNR基、R<sub>11</sub>はアルキル基、X<sub>4</sub>はOまたはS原子、R<sub>12</sub>は水素原子、CH<sub>3</sub>S-基、CH<sub>3</sub>O-基、(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N-基、X<sub>5</sub>はNR基を示す〕である請求項3に記載の光配線用材料。

【請求項6】 屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記の有機高分子層の高屈折率層中に光照射により分極率が増大するフォトクロミック分子

が少なくとも2種含まれており、これに露光マスクを介して光照射を複数回行うことにより、前記高屈折率層の露光部に光導波路コアを形成することを特徴とする光配線方法。

【請求項7】 前記フォトクロミック分子が、前記〔化1〕～〔化3〕で示す可視光照射により異性化するフォトクロミック分子の少なくとも1種と、前記〔化4〕～〔化8〕で示す紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子の少なくとも1種である請求項6に記載の光配線方法。

【請求項8】 前記光照射を紫外光および可視光を用い

て行う請求項6または7に記載の光配線方法。

【請求項9】 前記光導波路コアが2本以上交差した高屈折率交差光導波路を形成するため前記高屈折率層に対する露光を2回以上行なう請求項6、7または8に記載の光配線方法。

【請求項10】 屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記有機高分子層の高屈折率層中には光照射により分極率が增大するフォトリソミック分子が少なくとも2種含まれており、これに露光マスクを介して光照射を行なうことで光導波路コアが形成されていることを特徴とする光導波路。

【請求項11】 前記フォトリソミック分子が、前記〔化1〕～〔化3〕で示す可視光照射により異性化するフォトリソミック分子の少なくとも1種と、前記〔化4〕～〔化8〕で示す紫外光照射により異性化するフォトリソミック分子の少なくとも1種である請求項10に記載の光導波路。

【請求項12】 前記高屈折率層に対する露光を2回以上行なうことで前記光導波路コアが2本以上交差した高屈折率交差光導波路が形成された請求項10または11に記載の光導波路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、有機高分子材料を用いた光配線用材料およびその光配線方法並びにこれを用いた光導波路に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、電子デバイスの高性能化に伴い、電子デバイス間を光通信で結ぶ光インターコネクション技術が注目を集めており、いろいろな光通信方式、およびそのための材料が提案されている。

【0003】光インターコネクションは、従来の電子回路とは比較にならない大容量、高速通信が可能であり、超並列計算機等の電子デバイス間の大容量高速通信を必要とする情報機器に極めて重要な技術である。

【0004】有機高分子材料を用いた光導波路は安価であり、また、大型化も容易であることから、光インターコネクション用光配線材料として適している。有機光導波路は、化学反応その他により屈折率差を高分子マトリックス内部に誘起することにより形成可能であり、これまで高分子の光重合反応を利用した検討が行われてきた。

【0005】例えば、高分子学会編「高分子新素材便覧」(丸善、1989年)第101～107頁に記載されているように、有機高分子を用いた導波路を形成する方法としては、(1) ポリメタクリル酸メチルに紫外光を照射し、被照射部の屈折率を高くして導波路とする方法、(2) 光リソグラフィー法により高分子基板上にリッジ(凸部)を構成してリッジ導波路を形成する方法、(3) 液状の感光性高分子材料を基板上に塗布

し、マスク露光により露光部を重合硬化させた後、未反応部を除去してリッジ導波路を形成する方法、(4) 露光マスクを用いて選択的光重合を行い露光部をクラッドとする方法、(5) 選択的光重合により露光部をコアとする方法等があり、特に上記(4)の方法は実用化されている。

【0006】また、近年、高分子材料中に光照射により異性化して分極率が增大するフォトリソミック分子を分散し、光照射により露光部分をコア部とする光導波路の作製法が提案されている。

【0007】例えば、特開平6-317819号公報および特開平7-181530号公報では、フォトリソミック分子を非線形光学材料中に分散し、マスク露光を行うことにより非線形光導波路の製法が開示されている。また、特開平8-136752号公報では、コア層にフォトリソミック分子を分散させたスラブ型導波路光スイッチの製法が開示されている。

【0008】フォトリソミック分子を利用するこれらの光導波路の製法は、導波路形成に要する時間がミリ秒程度と極めて短く、光重合反応を用いる前記の(1)～(5)の方法と比較して優れている。また、これらの方法は、重合反応を伴わないために反応の前後で体積が変化せず、材料内部に残留応力が発生しない等の利点も有する。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のフォトリソミック分子を利用した光導波路の製法は、光インターコネクションで必要とする複雑な構造の光導波路には不向きである。

【0010】即ち、光インターコネクションでは、図1の模式図に示すように、複数の電子デバイス間を相互に光導波路で結合するための交差型導波路が必要とされるが、従来の方法で交差型導波路を作製すると、交差部1の屈折率が、コア2、4の屈折率と同じ等屈折率交差光導波路となって、コア2を導波する導波光9が、交差部1でコア4へ漏光9となって漏れてしまうからである。

【0011】こうした交差部1での光信号の漏れを防ぐためには、交差部1の屈折率がコア2、4の屈折率よりも高い、高屈折率交差光導波路とする必要がある。高屈折率交差光導波路では、図2の模式図に示すように交差部1の屈折率がコア2、4の屈折率よりも大きいために光の漏れが起こらない。

【0012】本発明の目的は、光インターコネクションに必要な高屈折率交差光導波路を含む光導波路の作製に必要な光配線用材料およびその光配線方法、並びにこれを用いた光導波路を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成する本発明の要旨は次のとおりである。

【0014】〔1〕 屈折率の異なる2種の有機高分子

材料層が積層されており、前記の有機高分子層の高屈折率層中に光照射により分極率が増大する分子が、少なくとも2種含まれている光配線用材料にある。

【0015】〔2〕 前記光照射により分極率が増大する分子が、光照射により分子構造が異性化するフォトクロミック分子である前記の光配線用材料にある。

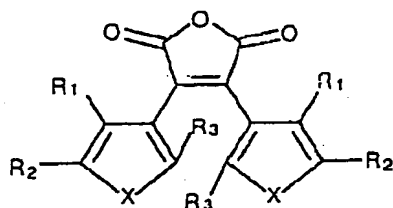
【0016】〔3〕 前記高屈折率層が、可視光照射に

より異性化するフォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子とを含む前記の光配線用材料にある。

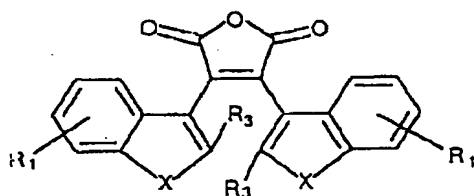
【0017】〔4〕 前記可視光照射により異性化するフォトクロミック分子が、下記〔化1〕～〔化3〕

【0018】

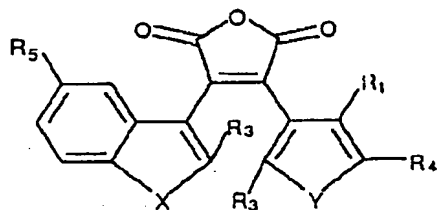
〔化3〕



…〔化1〕



…〔化2〕



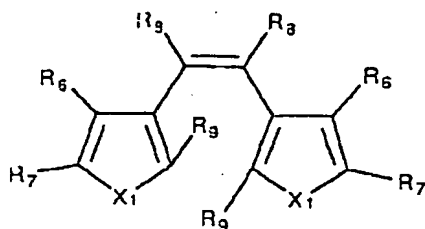
…〔化3〕

【0019】〔XおよびYは酸素原子、硫黄原子、セレン原子またはNR基（Rはアルキル基）、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>は水素原子、アルキル基、アルコキシ基、アリール基、アリールオキシ基、アミノ基、ピロリル基、フリル基またはハロゲン原子、R<sub>3</sub>はアルキル基、R<sub>4</sub>は水素原子、シアノ基またはアリールオキシ基、R<sub>5</sub>は水素原子またはアルコキシ基である〕で表されるジアリールエテン系フォトクロミック分子である前記の光配線用材料にある。

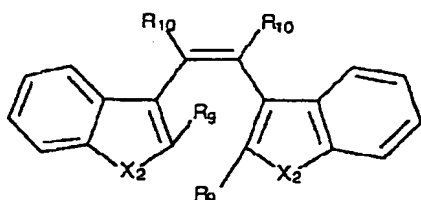
【0020】〔5〕 前記紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子が、下記〔化4〕～〔化6〕で表されるジアリールエテン系フォトクロミック分子、あるいは〔化7〕および〔化8〕で表されるフルギド系フォトクロミック分子

【0021】

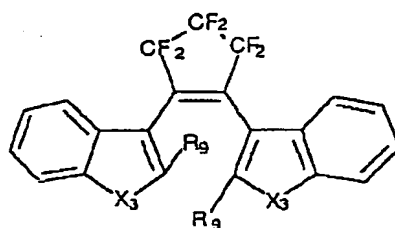
〔化4〕



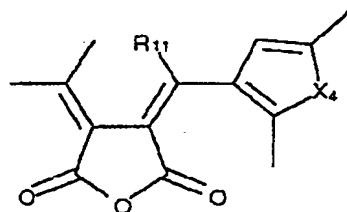
…〔化4〕



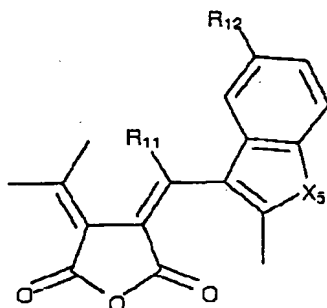
…〔化5〕



…〔化6〕



…〔化7〕



…〔化8〕

【0022】〔R<sub>6</sub>およびR<sub>7</sub>は水素またはアルキル基、R<sub>8</sub>はアルキル基またはシアノ基、X<sub>1</sub>はO、S、Se原子またはNR基（Rはアルキル基）、R<sub>10</sub>はシアノ基、X<sub>2</sub>はO、S原子およびNR基、R<sub>9</sub>はアルキル基、X<sub>3</sub>はS原子またはNR基、R<sub>11</sub>はアルキル基、X<sub>4</sub>はOまたはS原子、R<sub>12</sub>は水素原子、CH<sub>3</sub>S-基、CH<sub>3</sub>O-基、(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>N-基、X<sub>5</sub>はNR基を示す〕である前記の光配線用材料にある。

【0023】〔6〕 屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記有機高分子層の高屈折率層中に光照射により分極率が增大するフォトクロミック

分子が、少なくとも2種含まれており、これに露光マスクを介して光照射を複数回行うことにより、前記高屈折率層の露光部に光導波路コアを形成する光配線方法にある。

【0024】〔7〕 前記フォトクロミック分子が、前記〔化1〕～〔化3〕で示す可視光照射により異性化するフォトクロミック分子の少なくとも1種と、前記〔化4〕～〔化8〕で示す紫外光照射により異性化するフォトクロミック分子の少なくとも1種である前記の光配線方法にある。

【0025】〔8〕 前記光導波路コアが2本以上交差

した高屈折率交差光導波路を形成できるよう高屈折率層に2回以上の露光を行なう前記の光配線方法にある。

【0026】〔9〕屈折率の異なる2種の有機高分子材料層が積層されており、前記有機高分子層の高屈折率層中には光照射により分極率が增大するフォトクロミック分子が少なくとも2種含まれており、これに露光マスクを介して光照射を行なうことで光導波路コアが形成されている光導波路にある。

【0027】〔10〕前記高屈折率層に対する露光を2回以上行うことで前記光導波路コアが2本以上交差した高屈折率交差光導波路が形成された前記の光導波路にある。

【0028】フォトクロミック分子は、前記のとおり紫外線照射により異性化するものと可視光照射により異性化するものと2種類に大別できる。特に、本発明では上記両者を高屈折率層中に分散含有させることで、紫外光および可視光の露光を独立して行い、高屈折率交差光導波路を形成できるようにした点が特長である。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明について詳細に記述する。通常、非結晶有機材料の屈折率 $n$ と、材料を構成する分子の分極率の間には、下記〔数1〕の関係があり、分極率が大きい分子を含む材料ほど屈折率が大きい。

【0030】

〔数1〕

$$n = \sqrt{1 + \frac{4\pi}{V} \sum_i N_i \langle \alpha \rangle_i} \quad \dots \text{〔数1〕}$$

【0031】ここで、 $N_i$ は材料1 cm<sup>3</sup>中に含まれる分子種 $i$ の分子数、 $\langle \alpha \rangle_i$ は分子種 $i$ の平均分極率、 $V$ は単位体積(1 cm<sup>3</sup>)であり、右辺の和は材料を構成する分子の種類に関してとることを意味する。

【0032】一般に、材料内部に屈折率の異なる領域が存在する場合、光は高屈折率領域に閉じこめられる。また、高屈折率領域が導波路形状となっている場合、光はその領域(コア)内部を伝播する。従って、光導波路は材料内部に屈折率差を誘起することにより形成できる。特開平6-317819号公報および特開平7-181530号公報には、フォトクロミック分子の分極率が光反応により増大することを利用して、露光部分をコアとする光導波路の製法が開示されている。しかしこれらの方法では、高屈折率交差光導波路を形成できないと云う問題があった。

【0033】一方、通常光反応は、分子の電子状態を励起することにより引き起こされ、励起エネルギーは分子により異なるのが通常である。従って、材料内部に光照射により分極率が增大する分子が2種以上存在する場合、露光毎に目的とする分子の励起エネルギーに相当する波長の光を照射して、材料の屈折率を増大させること

ができる。さらにこの場合、多重露光部は、より少ない回数露光を受けた部分よりも大きな屈折率を有すると云う特徴がある。

【0034】そこで、本発明では、光照射により分極率が增大する分子を、本発明の光配線用材料の高屈折率高分子層中に少なくとも2種分散することにより、露光毎に材料の屈折率が增大するようにして、多重露光により高屈折率交差光導波路を含む光導波路を形成できるようにした。

【0035】即ち、本発明において、図1の交差光導波路を作製する場合、コア2およびコア3の部分をそれぞれ異なる光波長で露光することにより作製でき、2重露光部である交差部1の屈折率を、コア2および3の屈折率よりも大きくすることができる。このように、本発明の光配線材料によれば、従来では作製できなかった、高屈折率交差光導波路を容易に作製することができる。

【0036】さらに、本発明によれば、同様にして図3に示すような高屈折率3重交差光導波路を作製することも可能である。この場合、コア18、19、20を伝播する光は、交差部17で他のコア部分に漏れることなく、各コア内部を伝播する。

【0037】また、本発明の光配線用材料は、光照射により分極率が增大する分子として、特定の波長で光異性化反応を起こすフォトクロミック分子を用いて構成することができる。日本化学会編「有機フォトクロミズムの化学」(学会出版センター、1996年)に記載されているように、フォトクロミック分子構造は分子に固有な波長の光を吸収して分子構造が異性化し、共役鎖長が伸びて分極率が增大すると云う特徴を有する。

【0038】フォトクロミック分子としては、「有機フォトクロミズムの化学」に記載されているように、スピロベンゾピランおよびその誘導体、スピロナフトオキサジンおよびその誘導体、チオスピロピランおよびその誘導体、フルギド分子およびその誘導体、ジアリールエテン系分子等があり、特に、フルギド分子誘導体およびジアリールエテン系分子は、光安定性と熱安定性に優れているので本発明の光配線用材料に適している。

【0039】フォトクロミック分子は、紫外光を吸収して反応を起こす分子と、可視光を吸収して反応する分子の2種類に大別することができる。殆どのフォトクロミック分子は、波長400 nm以下の紫外光を吸収して光異性化反応を起こすが、エテン部にマレイン酸無水物基をもつジアリールエテン誘導体は、波長が488 nmの可視光を吸収して光異性化反応を起こすことが知られている。

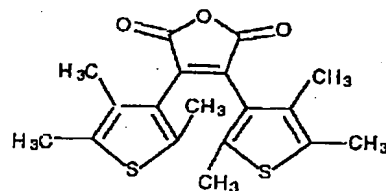
【0040】従って、本発明の光配線用材料は、その高屈折率高分子層内部に前記〔化1〕～〔化3〕で示されるジアリールエテン誘導体と、紫外光に反応する前記〔化4〕～〔化6〕で示されるジアリールエテン系フォトクロミック分子、または前記〔化7〕、〔化8〕で示

されるフルギド系フォト分子を、高分子材料中に分散することにより作製することができる。

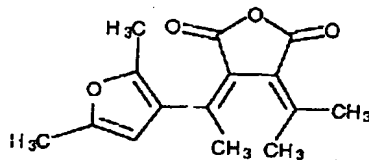
【0041】本発明の光配線材料は、有機高分子材料の多層膜であるが、該有機高分子材料としては、導波光に対して高い透明性を有するものであればよく、例えば、ポリメタクリル酸メチル（PMMA）、ポリカーボネート（PC）、ポリジエチレングリコールビスアリルカーボネート（CR-39）、ポリスチレン（PS）、スチレン/メタクリル酸メチル共重合体（MS樹脂）、アクリロニトリル/スチレン共重合体（AS樹脂）、ポリメタクリル酸シクロヘキシル（PCHMA）、ポリ（4-メチルペンテン-1）（TPX）、テトラフルオロエチレン/ヘキサフルオロプロピレン共重合体、ポリテトラフルオロエチレン、ポリメタクリル酸トリフルオロエチレン、ポリ（メタクリル酸-2-クロロエチル）、ポリ（メタクリル酸-2-ブromoエチル）、ポリメタクリル酸ベンジル、ポリメタクリル酸フェニル、ポリフタル酸ジアリル、ポリ（メタクリル酸-p-ブromoフェニル）、ポリメタクリル酸ペンタクロロフェニル、ポリ（o-クロロスチレン）、ポリ（メタクリル酸ナフチル）、PMMAの水素原子を全て重水素化した重水素置換PMMA、PMMAの水素原子を全てフッ素化したフッ素置換PMMA、およびこれらの混合物等を用いることができる。

【0042】

【実施例】本発明を実施例に基づき具体的に説明する。下記の実施例1～3は、前記〔化1〕および〔化7〕の



…〔化9〕



…〔化10〕

【0047】この溶液を用いてスピコート成膜（回転数1300rpm、15秒間）により、フォトクロミック分子を含むフッ素置換PMMA薄膜（膜厚10nm）を前記下部クラッド層23上に形成し、完全に乾燥させて本実施例導波路のコア層24とした。その結果、ガラス基板22上に2層構造の光配線用材料を得た。

【0048】上記の光配線用材料を用い、本発明の光配線方法に基づき、図4に示す交差光導波路を作製した。

【0049】最初に、直線状のスリットを有する露光マスクを用いて、アルゴンイオンレーザの波長488nmの可視光を照射し、前記コア層24中に分散されている〔化9〕のフォトクロミック分子を反応させ、被照射部

フォトクロミック分子を用いて作製する本発明の基本形態であり、実施例4～9は、〔化1〕および〔化7〕以外のフォトクロミック分子を用いた本発明の光配線材料の例を示すものである。

【0043】〔実施例1〕本発明によるクラッドの一部が空気層である高屈折率交差光導波路の作製例について述べる。

【0044】PMMAの全ての水素原子をフッ素原子に置換したフッ素置換PMMAを、イソブチルケトンに溶解して20重量%溶液を調製した。この溶液を用いてスピコート成膜（回転数2000rpm、30秒間）により、図4に示すガラス基板22上にフッ素置換PMMA薄膜（膜厚30nm）を形成し、完全に乾燥させて導波路の下部クラッド層23を形成した。

【0045】次に、フッ素置換PMMA中に〔化9〕で示すジアリールエテン系フォトクロミック分子と、〔化10〕で示すフルギド系フォトクロミック分子とを、それぞれ15重量%分散させ、これをクロロベンゼン中に溶解して、20重量%溶液を調製した。ここで、〔化9〕の分子は〔化1〕において $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$ が $CH_3$ 基、 $X_1$ がS原子の分子であり、〔化10〕の分子は〔化7〕において $R_{11}$ が $CH_3$ 基、 $X_4$ がO原子の分子である。

【0046】

〔化5〕

の屈折率を増大させることにより直線状の導波路コア25を作製した。

【0050】続いて、前記導波路コア25に交差するように露光マスクのスリットを配置し、エキシマレーザポンプ色素レーザの波長360nmの紫外光を照射し、〔化10〕のフォトクロミック分子を反応させて、上記コア25に交差する第2の導波路コア26をコア層24中に形成した。その結果、図4に示すX字状の交差光導波路を得た。なお、交差光導波路のクラッドはコア層23、24の非露光部と空気層である。

【0051】作製した交差光導波路コア25、26のAとBの端面に、石英ガラスファイバーコア（図示省略）



の端面を直接接合し、ガラスファイバーに光を導波させることにより前記コア25、26に光入力し、交差光導波路の導波特性を調べた。即ち、コア26に入力光Aを入射した場合の出力光aの強度 $I_a$ と、出力光bの強度 $I_b$ 、および、コア25に入力光Bを入射した場合の $I_a$ と $I_b$ とをそれぞれ測定した。測定は石英ガラスファイバーに出力10mW、波長1.3mmの半導体レーザを直接結合し、 $I_a$ および $I_b$ を光電子倍增管により計測した。

【0052】その結果、コア26に入力光Aを入射した場合の $I_b/I_a$ はほぼ零、コア25に入射光Bを入射した場合の $I_a/I_b$ も同様にほぼ零であった。即ち、本実施例の交差光導波路ではコア25を導波する光がコア26に、コア26を導波する光がコア25には漏れず、本実施例の交差光導波路は高屈折率交差光導波路として機能することが分かった。

【0053】〔実施例 2〕本実施例ではクラッドが高分子層である高屈折率交差光導波路の例を述べる。

【0054】実施例1で用いたフッ素置換PMMAのイソブチルケトン20重量%溶液（溶液1）を、スピコート成膜（回転数2000rpm、30秒間）により、図5に示すガラス基板27上に、フッ素置換PMMA薄膜（膜厚30nm）を形成し、完全に乾燥させて導波路の下部クラッド層28を形成した。

【0055】実施例1同様にフッ素置換PMMA中に〔化9〕、〔化10〕のフォトクロミック分子をそれぞれ15重量%で分散させ、これをクロロベンゼン中に溶解して、20重量%溶液を調製した。この溶液を用いてスピコート成膜（回転数1300rpm、15秒間）により、フォトクロミック分子を含むフッ素置換PMMA薄膜（膜厚10nm）を前記下部クラッド層28上に形成し、完全に乾燥させて導波路のコア層29とした。

【0056】次いで、上記溶液1を用い、スピコート成膜（回転数2000rpm、30秒間）により、上記コア層29上にフッ素置換PMMA薄膜（膜厚30nm）を形成し、完全に乾燥させて上部クラッド層30を形成した。これによりガラス基板27上に3層構造の光配線用材料を得た。

【0057】次に、上記の光配線用材料を用いて、本発明方法光配線方法に基づき、図5に示す交差光導波路を作製した。

【0058】最初に、直線状のスリットを有する露光マスクを用いて、アルゴンイオンレーザの波長488nmの可視光を照射し、前記〔化4〕および〔化5〕のフォトクロミック分子が分散されているコア層29中の、〔化4〕のフォトクロミック分子を反応させ、被照射部の屈折率を増大させて直線状の導波路コア31を形成した。

【0059】続いて、前記導波路コア31に交差するように露光マスクのスリットを配置し、エキシマレーザボ

ンプ色素レーザの波長360nmの紫外光を照射して、先に形成したコア31に交差する第2のコア32をコア層29中に形成し、図5に示す交差光導波路を得た。なお、本実施例の交差光導波路のクラッドは28、30および29の非露光部である。

【0060】上記の交差光導波路コア32、31のA、B端面に、石英ガラスファイバーのコア（図示省略）の端面を直接接合し、ガラスファイバーに光を導波させることにより前記コア32、31に光入力し、交差光導波路の導波特性を調べた。即ち、コア32に入力光Aを入射した場合の出力光aの強度 $I_a$ と出力光bの強度 $I_b$ 、およびコア31に入力光Bを入射した場合の $I_a$ と $I_b$ を測定した。測定は実施例1と同様にして $I_a$ および $I_b$ を光電子倍增管により計測した。

【0061】その結果、コア32に入力光Aを入射した場合の $I_b/I_a$ はほぼ零、コア31に入力光Bを入射した場合の $I_a/I_b$ も同様にほぼ零で、交差光導波路でコア32の導波光がコア31に、コア31の導波光がコア32に漏れることはなかった。

【0062】〔実施例 3〕本実施例では3重交差光導波路の作製例につき述べる。

【0063】実施例2と同様に、図6に示すように3層構造を有する本発明の光配線用材料をガラス基33板上に形成した。

【0064】上記の光配線用材料に以下の手順で3重交差光導波路を形成した。最初にX字型の露光マスクを用い光配線用材料に、アルゴンイオンレーザの波長488nmの可視光を照射し、コア層35のフッ素置換PMMA薄膜中に分散されている〔化9〕のフォトクロミック分子を反応させ、被照射部の屈折率を増大させてX字型の交差光導波路のコア37をコア層35内に形成した。

【0065】続いて、露光マスクの直線状スリットが、先に形成した交差光導波路コア37の交差部を横切るように配置し、エキシマレーザボンプ色素レーザの波長360nmの紫外光を照射して、同様に上記コア層35のフッ素置換PMMA薄膜中に分散されている〔化10〕のフォトクロミック分子を反応させ、先に形成した交差光導波路コア37の交差部を含む第2の導波路コア38をコア層35中に形成した。これにより図6の交差光導波路を得た。

【0066】なお、34および36はフッ素置換PMMA薄膜で、本実施例の交差光導波路のクラッドは34、35の非露光部および36で構成される。

【0067】前記実施例1と同様に、形成した交差光導波路コア37および38の端面（A、B、C）に、石英ガラスファイバー（図示省略）のコア端面を直接接合して、上記コアに光入力し、前記交差光導波路の導波特性を調べた。即ち、コア37に入力光Aを入射した場合の出力光a、b、cの強度 $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、コア38に入力光Bを入射した場合の $I_a$ 、 $I_b$ 、 $I_c$ 、およびコ

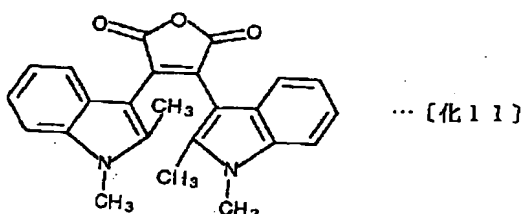
ア37に入射光Cを入射した場合のIa、Ib、Icを測定した。

【0068】その結果、コア37に入力光Aを入射した場合のIb/IaおよびIc/Iaはほぼ零、コア38に入射光Bを入射した場合のIa/IbおよびIc/Ibも同様にほぼ零であった。また、コア37に入力光Cを入射した場合のIa/IcおよびIb/Icもほぼ零で、3重交差部で互いのコアに光漏れは生じなかった。

【0069】〔実施例 4〕実施例1と同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化11〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化10〕のフルギド系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0070】

〔化6〕



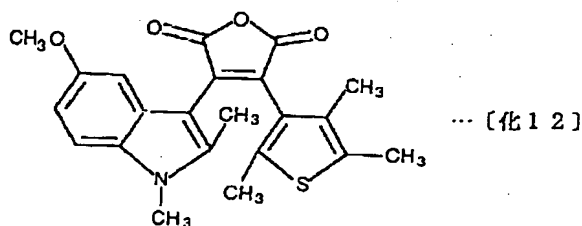
【0071】〔化11〕の分子は、前記〔化2〕において、R<sub>1</sub>が水素原子、R<sub>3</sub>がCH<sub>3</sub>基、XがNCH<sub>3</sub>基であるフォトクロミック分子である。

【0072】この光配線用材料に対して、実施例1同様にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有することを確認した。

【0073】〔実施例 5〕実施例1同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化12〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化10〕のフルギド系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0074】

〔化7〕



【0075】〔化12〕の分子は、前記〔化3〕において、R<sub>1</sub>、R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>がCH<sub>3</sub>基、XがNCH<sub>3</sub>基、YがS原子、R<sub>5</sub>がCH<sub>3</sub>O基である分子である。

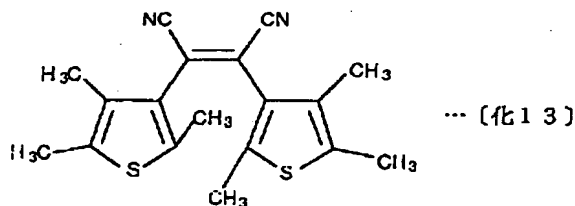
【0076】この光配線用材料に対して、実施例1同様に

にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有することを確認した。

【0077】〔実施例 6〕実施例1と同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化9〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化13〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0078】

〔化8〕



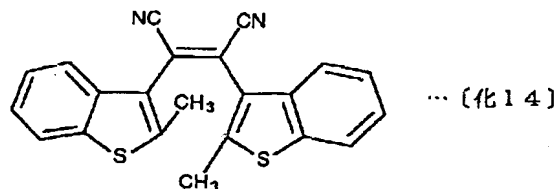
【0079】〔化13〕の分子は、前記〔化4〕において、R<sub>6</sub>、R<sub>7</sub>、R<sub>9</sub>がCH<sub>3</sub>基、R<sub>8</sub>がシアノ基、X<sub>1</sub>がS原子である分子である。

【0080】この光配線用材料に対して、実施例1同様にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有することを確認した。

【0081】〔実施例 7〕実施例1同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化9〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化14〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0082】

〔化9〕



【0083】〔化14〕の分子は、前記〔化5〕において、R<sub>9</sub>がCH<sub>3</sub>基、R<sub>10</sub>がシアノ基、X<sub>2</sub>がS原子である分子である。

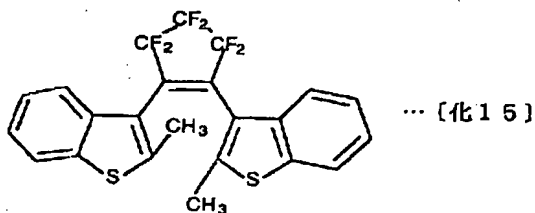
【0084】この光配線用材料に対して、実施例1同様にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有するこ

とを確認した。

【0085】〔実施例 8〕実施例1と同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化9〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化15〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0086】

〔化10〕



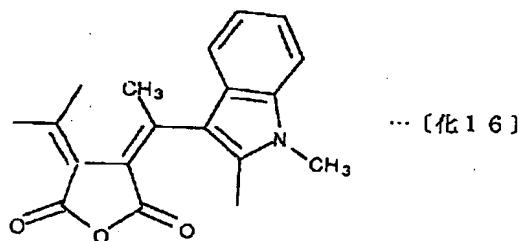
【0087】〔化15〕の分子は、前記〔化6〕において、 $R_9$ が $\text{CH}_3$ 基、 $X_3$ がS原子である分子である。

【0088】この光配線用材料に対して、実施例1同様にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有することを確認した。

【0089】〔実施例 9〕実施例1と同様に、可視光照射により異性化反応を起こす〔化9〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子と、紫外光照射により異性化反応を起こす〔化16〕のジアリールエテン系フォトクロミック分子を用いてガラス基板上に2層構造の光配線用材料を形成した。

【0090】

〔化11〕



【0091】〔化16〕の分子は、前記〔化8〕において、 $R_{11}$ が $\text{CH}_3$ 基、 $R_{12}$ が水素原子、 $X_5$ が $\text{NCH}_3$ 基である分子である。

【0092】この光配線用材料に対して、実施例1同様にアルゴンイオンレーザとエキシマレーザを順次照射することにより、図4の交差光導波路を形成した。形成した導波路の光伝送特性を実施例1と同様に測定した結果、高屈折率交差光導波路として優れた特性を有することを確認した。

【0093】〔比較例〕実施例1と同様にして、ガラス基板上にフッ素置換PMMA薄膜（膜厚30nm）を形

成した。次に、フッ素置換PMMA中に〔化10〕のフルギド誘導体フォトクロミック分子を15重量%分散させ、これをクロロベンゼン中に溶解して20重量%溶液を調製した。

【0094】この溶液を前記フッ素置換PMMA薄膜に塗布し、スピコート法（回転数1300rpm、15秒間）により膜厚10nmの薄膜とし、完全に乾燥させてコア層とした。この2層構造の高分子薄膜に対し、直線状のスリットを有する露光マスクを用い、エキシマレーザポンプ色素レーザの波長360nmの紫外光を照射し、直線状の導波路コアを前記コア層中に形成した。

【0095】続いて、上記のコアに交差する形に露光マスクのスリットを配置し、同様に360nmの紫外光を照射して第2のコアを形成し、図4に類似の交差光導波路を形成した。

【0096】形成した交差導波路の導波光の導波特性を、実施例1と同様に調べた。その結果、形成した導波路は交差部で光の漏れが起こり、高屈折率交差光導波路としての機能を有しないことが分かった。

【0097】

【発明の効果】本発明の光配線用材料を用い、本発明の光配線方法で作製された高屈折率交差光導波路を含む光導波路は、前記のとおり有機材料を用いることで容易に形成することができ、その導波光の導波特性は優れた特性を有する。

【0098】また、有機材料を用いた光導波路は安価で、大型化も容易であるため、電子デバイス間を光通信で結ぶ光インターコネクション用として、必要な光配線を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】等屈折率の交差光導波路の光導波状態の説明図である。

【図2】高屈折率の交差型光導波路の光導波状態の説明図である。

【図3】高屈折率の3重交差型光導波路の説明図である。

【図4】実施例1および4～9で用いた交差型光導波路の模式図である。

【図5】実施例2で用いた交差型光導波路の模式図である。

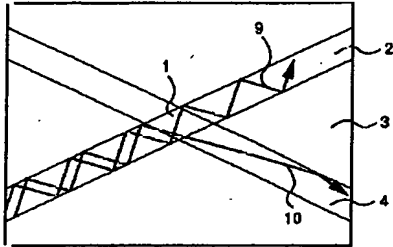
【図6】本発明の実施例3で用いた3重交差型光導波路の模式図である。

【符号の説明】

1, 17…交差部、2, 4, 18, 19, 20, 25, 26, 31, 32, 37, 38…コア、3, 21…クラッド、9…導波光、10…漏洩光、22…ガラス基板、23, 28, 34…下部クラッド層、24, 29, 35…コア層、27, 33…基板、30, 36…上部クラッド層。

【図1】

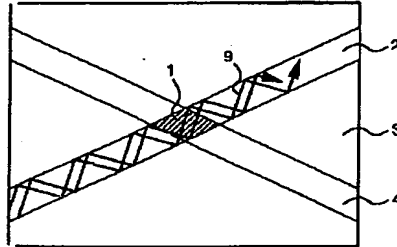
図 1



1…交差部 2…コア 3…クラッド  
9…入射光 10…透過光

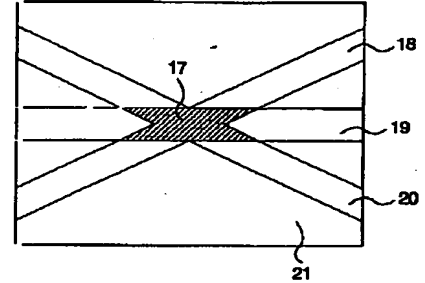
【図2】

図 2



【図3】

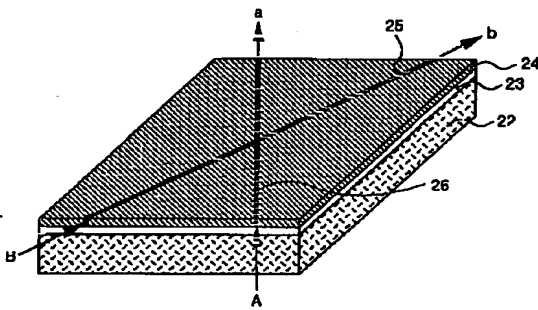
図 3



17…交差部 18, 19, 20…コア 21…クラッド

【図4】

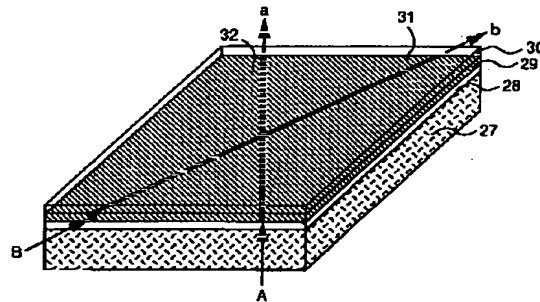
図 4



22…ガラス基板 23…下部クラッド層  
24…コア層 25, 26…コア

【図5】

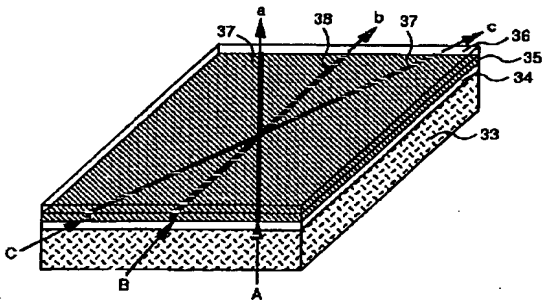
図 5



27…基板 28…下部クラッド層 29…コア層  
30…上部クラッド層 31, 32…コア

【図6】

図 6



33…基板 34…下部クラッド層 35…コア層  
36…上部クラッド層 37, 38…コア

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-202144

(43)Date of publication of application : 30.07.1999

(51)Int.Cl.

G02B 6/13

// C09K 9/02

(21)Application number : 10-003693 (71)Applicant : HITACHI LTD

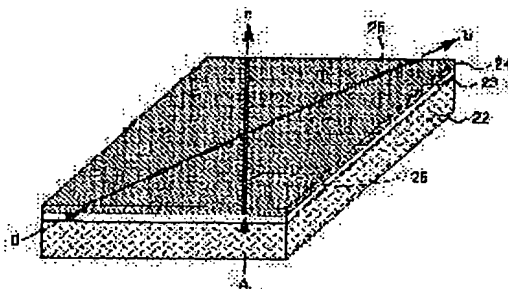
(22)Date of filing : 12.01.1998 (72)Inventor : HAMADA TOMOYUKI

(54) MATERIAL FOR OPTICAL WIRING AND ITS OPTICAL WIRING METHOD, AND OPTICAL WAVEGUIDE USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the optical waveguide for optical interconnection.

SOLUTION: Two kinds of organic high polymer material layer which differ in refractive index are laminated. In this case, the organic high polymer layer with the high refractive index contains two kinds of photochromic molecule increasing in polarization rate by light irradiation and is exposed more than twice through an exposure mask to obtain an optical waveguide having a high- refractive-index crossing optical waveguide where  $\geq 2$  lines crossing optical waveguide cores 26 and 26.



## CLAIMS

### [Claim(s)]

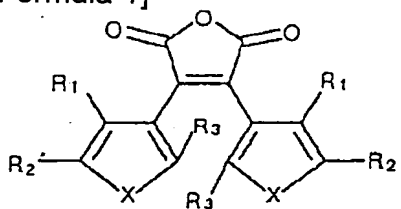
[Claim 1] The charge of optical wiring material to which the laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs is carried out, and the molecule to which polarizability increases by optical irradiation in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macromolecule layer is characterized by containing at least two sorts.

[Claim 2] The charge of optical wiring material according to claim 1 whose molecule in which polarizability increases by the aforementioned optical irradiation is a photochromic molecule which the molecular structure isomerizes by optical irradiation.

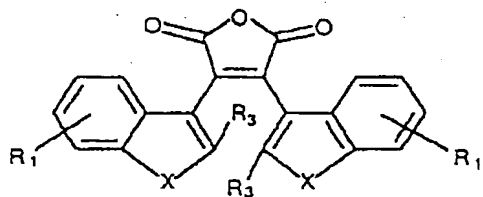
[Claim 3] The charge of optical wiring material according to claim 1 in which the aforementioned quantity refractive-index layer contains the photochromic molecule isomerized by light irradiation, and the photochromic molecule isomerized by ultraviolet radiation irradiation.

[Claim 4] the above -- following [-ized 1]- [-izing 3]

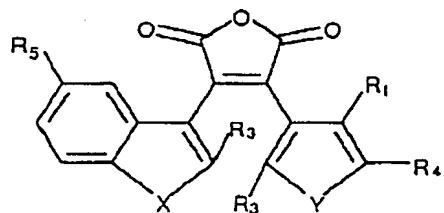
[Formula 1]



... [化 1]



... [化 2]

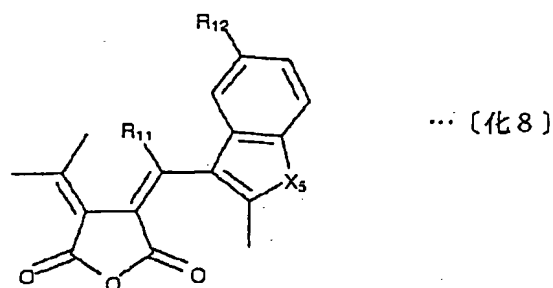
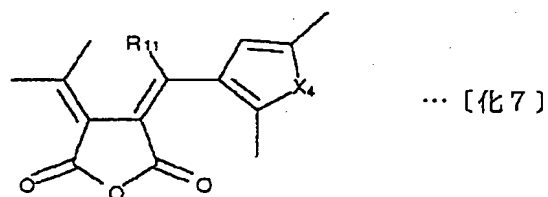
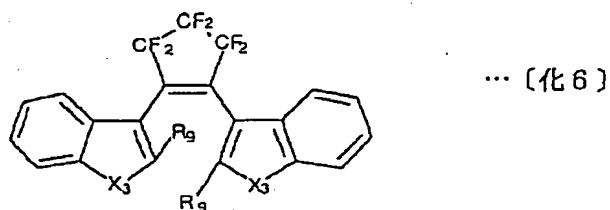
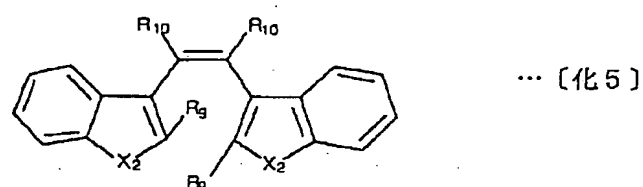
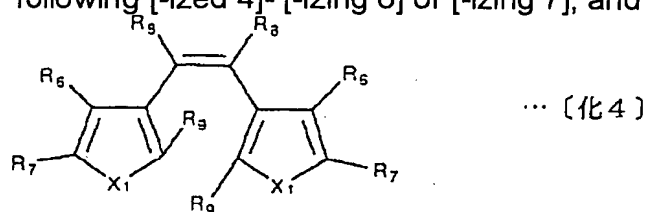


... [化 3]

It is the charge of optical wiring material according to claim 3 which is the diaryl ethene system photochromic molecule expressed with [a hydrogen atom, an alkyl group, an alkoxy group, an aryl group, an aryloxy group, the amino group, a pyrrolyl machine, a furil machine or a halogen atom, and R3 are [for an oxygen atom, a sulfur atom, a selenium atom or NR basis (R is an alkyl group), and R1

and R2 / X and Y] a hydrogen atom or an alkoxy group as for an alkyl group and R4]

[Claim 5] The fulgide system photochromic molecule as which the photochromic molecule isomerized by the aforementioned ultraviolet radiation irradiation is expressed in the diaryl ethene system photochromic molecule expressed with following [-izing 4]- [-izing 6] or [-izing 7], and [-izing 8]. [Formula 2]



Hydrogen or an alkyl group, and R8 [R6 and R7 An alkyl group or a cyano group, O, S, Se atom or NR basis (R is an alkyl group), and R10 X1 A cyano group, X --

two -- O -- S -- an atom -- and -- NR -- a basis -- R -- nine -- an alkyl group -- X -- three -- S -- an atom -- or -- NR -- a basis -- R -- 11 -- an alkyl group -- X -- four -- O -- or -- S -- an atom -- R -- 12 -- a hydrogen atom -- CH -- three -- S -- -- a machine -- CH -- three -- O -- -- a machine -- two (CH<sub>3</sub>) -- N -- --

[Claim 6] The optical wiring method characterized by forming an optical-waveguide core in the exposure section of the aforementioned quantity refractive-index layer by carrying out the laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs, containing at least two sorts of photochromic molecules in which polarizability increases by optical irradiation in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macromolecule layer, and performing optical irradiation to this two or more times through an exposure mask.

[Claim 7] The optical wiring method according to claim 6 which are at least one sort of the photochromic molecule which the aforementioned photochromic molecule isomerizes by light irradiation shown by aforementioned [-ized 1]- [-izing 3], and at least one sort of the photochromic molecule isomerized by ultraviolet radiation irradiation shown by aforementioned [-ized 4]- [-izing 8].

[Claim 8] The optical wiring method according to claim 6 or 7 of performing the aforementioned optical irradiation using ultraviolet radiation and the light.

[Claim 9] The optical wiring method according to claim 6, 7, or 8 of performing exposure to the aforementioned quantity refractive-index layer twice or more in order that the aforementioned optical-waveguide core may form the high refractive-index intersection optical waveguide which crossed two or more.

[Claim 10] The optical waveguide characterized by forming the optical-waveguide core by the laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs being carried out, and at least two sorts of photochromic molecules in which polarizability increases by optical irradiation being contained in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macromolecule layer, and performing optical irradiation to this through an exposure mask.

[Claim 11] The optical waveguide according to claim 10 which are at least one sort of the photochromic molecule which the aforementioned photochromic molecule isomerizes by light irradiation shown by aforementioned [-ized 1]- [-izing 3], and at least one sort of the photochromic molecule isomerized by ultraviolet radiation irradiation shown by aforementioned [-ized 4]- [-izing 8].

[Claim 12] The optical waveguide according to claim 10 or 11 in which the high refractive-index intersection optical waveguide which the two or more aforementioned optical-waveguide cores intersected by performing exposure to the aforementioned quantity refractive-index layer twice or more was formed.

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001] [The technical field to which invention belongs] this invention relates to the charge of optical wiring material which used organic polymeric materials, its optical wiring method, and the optical waveguide using this.



[0002] [Description of the Prior Art] In recent years, the optical interconnection technology of connecting between electron devices with optical communication attracts attention with highly-efficient-izing of an electron device, and various optical-communication methods and the material for it are proposed.

[0003] An optical interconnection is the technology in which the large capacity which does not become as compared with the conventional electronic circuitry, and high-speed communication are possible, and it is very important for the information machines and equipment which need the mass high-speed communication between electron devices, such as a super parallel computer.

[0004] Since it is cheap and enlargement is also easy, the optical waveguide using organic polymeric materials is suitable as an optical wiring material for optical interconnections. The organic optical waveguide could be formed by carrying out induction of the refractive-index difference to the interior of macromolecule The Matrix by the chemical reaction and others, and examination using the photopolymerization reaction of a macromolecule has so far been performed.

[0005] for example, Society of Polymer Science, Japan editing "a macromolecule new-materials handbook" (Maruzen, 1989) -- as a method of forming the waveguide using the organic macromolecule as indicated by the 101-107th page (1) How to irradiate ultraviolet radiation at a polymethyl methacrylate, make the refractive index of the irradiated section high, and make it into a waveguide, (2) How to constitute a ridge (heights) on a macromolecule substrate by the optical lithography method, and form a ridge waveguide, (3) After applying liquefied photosensitive polymeric materials on the substrate and carrying out polymerization hardening of the exposure section by mask exposure, There are the method of removing the unreacted section and forming a ridge waveguide, a method of performing alternative photopolymerization using (4) exposure mask, and making the exposure section clad, the method of using the exposure section as a core according to (5) alternative photopolymerization, etc., especially the method of the above (4) is put in practical use.

[0006] Moreover, the photochromic molecule to which it isomerizes by optical irradiation and polarizability increases in polymeric materials is distributed, and the method of producing the optical waveguide which makes an exposure portion the core section by optical irradiation is proposed in recent years.

[0007] For example, in JP,6-317819,A and JP,7-181530,A, a photochromic molecule is distributed in nonlinear optics material, and the process of a nonlinear optical waveguide is indicated by performing mask exposure. Moreover, in JP,8-136752,A, the process of the slab type waveguide optical switch which made the core layer distribute a photochromic molecule is indicated.

[0008] photochromic one -- a molecule -- using -- these -- an optical waveguide -- a process -- a waveguide -- formation -- requiring -- time -- a ms -- a grade -- very -- short -- photopolymerization -- a reaction -- using -- the above -- (-- one --) - (-- five --) -- a method -- comparing -- excelling -- \*\*\*\* . Moreover, since it is not accompanied by polymerization reaction, volume does not change before and after a reaction, but these methods also have the advantage of residual stress not occurring inside material.

[0009] [Problem(s) to be Solved by the Invention] However, the process of the

optical waveguide using the conventional photochromic molecule is unsuitable for the optical waveguide of the complicated structure needed by the optical interconnection.

[0010] That is, it is because the refractive index of an intersection 1 will serve as the same \*\*\*\*\* intersection optical waveguide as the refractive index of cores 2 and 4, the waveguide light 9 which guides a core 2 will turn into \*\*\*\* 9 to a core 4 by the intersection 1 and it will leak, if a crossover waveguide is produced by the conventional method, although the crossover waveguide for combining between two or more electron devices mutually by the optical waveguide is needed in an optical interconnection as shown in the \*\* type view of drawing 1 .

[0011] In order to prevent the leakage of the lightwave signal in such an intersection 1, it is necessary to consider as a high refractive-index intersection optical waveguide with the refractive index of an intersection 1 higher than the refractive index of cores 2 and 4. In a high refractive-index intersection optical waveguide, as shown in the \*\* type view of drawing 2 , since the refractive index of an intersection 1 is larger than the refractive index of cores 2 and 4, the leakage of light does not take place.

[0012] The purpose of this invention is to offer the charge of optical wiring material required for production of the optical waveguide containing a high refractive-index intersection optical waveguide required for an optical interconnection, its optical wiring method, and the optical waveguide using this.

[0013] [Means for Solving the Problem] The summary of this invention which attains the aforementioned purpose is as follows.

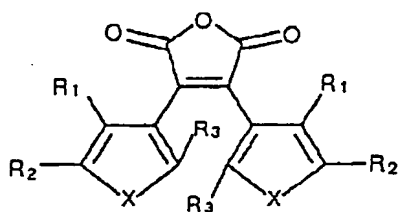
[0014] [1] The laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs is carried out, and the molecule to which polarizability increases by optical irradiation in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macromolecule layer is in the charge of optical wiring material included at least two sorts.

[0015] [2] The molecule in which polarizability increases by the aforementioned optical irradiation is in the aforementioned charge of optical wiring material which is the photochromic molecule which the molecular structure isomerizes by optical irradiation.

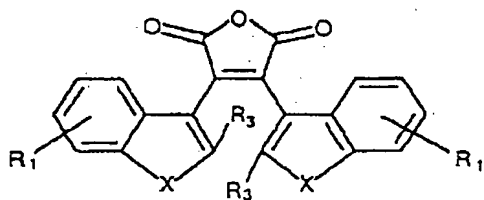
[0016] [3] The aforementioned quantity refractive-index layer is in the aforementioned charge of optical wiring material containing the photochromic molecule isomerized by light irradiation, and the photochromic molecule isomerized by ultraviolet radiation irradiation.

[0017] [4] the photochromic molecule isomerized by the aforementioned light irradiation -- following [-ized 1]- [-izing 3]

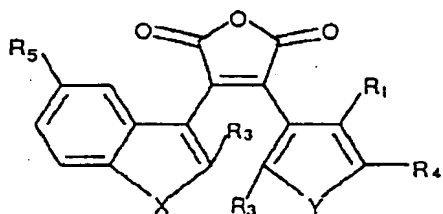
[0018] [Formula 3]



... [化1]



... [化2]

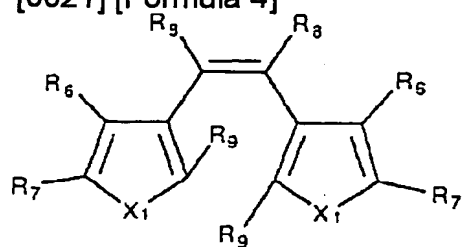


... [化3]

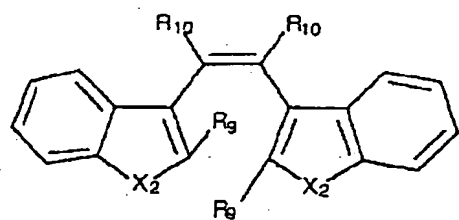
[0019] It is in the aforementioned charge of optical wiring material which is the diaryl ethene system photochromic molecule expressed with [a hydrogen atom, an alkyl group, an alkoxy group, an aryl group, an aryloxy group, the amino group, a pyrrolyl machine, a furil machine or a halogen atom, and R3 are [for an oxygen atom, a sulfur atom, a selenium atom or NR basis (R is an alkyl group), and R1 and R2 / X and Y] a hydrogen atom or an alkoxy group as for an alkyl group and R4

[0020] [5] The fulgide system photochromic molecule as which the photochromic molecule isomerized by the aforementioned ultraviolet radiation irradiation is expressed in the diaryl ethene system photochromic molecule expressed with following [-izing 4]- [-izing 6] or [-izing 7], and [-izing 8]

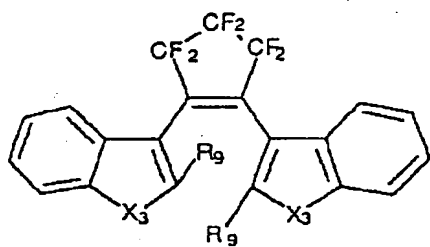
[0021] [Formula 4]



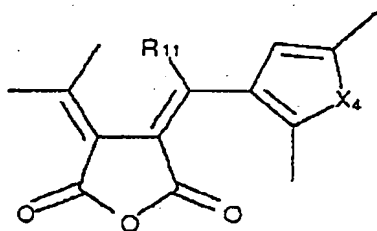
... [化 4]



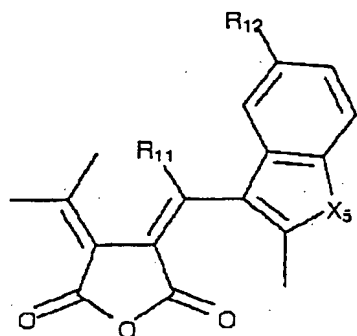
... [化 5]



... [化 6]



... [化 7]



... [化 8]

[0022] Hydrogen or an alkyl group, and R8 [R6 and R7 An alkyl group or a cyano

group, O, S, Se atom or NR basis (R is an alkyl group), and R10 X1 A cyano group, X -- two -- O -- S -- an atom -- and -- NR -- a basis -- R -- nine -- an alkyl group -- X -- three -- S -- an atom -- or -- NR -- a basis -- R -- 11 -- an alkyl group -- X -- four -- O -- or -- S -- an atom -- R -- 12 -- a hydrogen atom -- CH -- three -- S -- a machine -- CH -- three -- O -- a machine -- two (CH3) -- N --

[0023] [6] The laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs is carried out, and at least two sorts of photochromic molecules in which polarizability increases by optical irradiation are contained in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macro-molecule layer, and be in the optical wiring method which forms an optical-waveguide core in the exposure section of the aforementioned quantity refractive-index layer by performing optical irradiation to this two or more times through an exposure mask.

[0024] [7] The aforementioned photochromic molecule is in the aforementioned optical wiring method which are at least one sort of the photochromic molecule isomerized by light irradiation shown by aforementioned [-ized 1]- [-izing 3], and at least one sort of the photochromic molecule isomerized by ultraviolet radiation irradiation shown by aforementioned [-ized 4]- [-izing 8].

[0025] [8] Be in the aforementioned optical wiring method of performing two exposure or more in a high refractive-index layer so that the high refractive-index intersection optical waveguide which the two or more aforementioned optical-waveguide cores intersected can be formed.

[0026] [9] The laminating of two sorts of organic polymeric-materials layers from which a refractive index differs is carried out, and at least two sorts of photochromic molecules in which polarizability increases by optical irradiation are contained in the high refractive-index layer of the aforementioned organic macro-molecule layer, and be in the optical waveguide in which the optical-waveguide core is formed by performing optical irradiation to this through an exposure mask.

[0027] [10] Be in the aforementioned optical waveguide in which the high refractive-index intersection optical waveguide which the two or more aforementioned optical-waveguide cores intersected by performing exposure to the aforementioned quantity refractive-index layer twice or more was formed.

[0028] A photochromic molecule can be divided roughly into two kinds such as what is isomerized by UV irradiation as aforementioned, and the thing to isomerize by light irradiation. The point which performs independently exposure of ultraviolet radiation and the light, and enabled it to form a high refractive-index intersection optical waveguide by carrying out distributed content of above-mentioned both into a high refractive-index layer by this invention especially is the feature.

[0029] [Embodiments of the Invention] Hereafter, this invention is described in detail. Usually, a refractive index is as large as the material in which the relation of following [several 1] between the refractive index  $n$  of an amorphous organic material and the polarizability of the molecule which constitutes material is, and polarizability contains a large molecule.

[0030] [Equation 1]

$$n = \sqrt{1 + \frac{4\pi}{V} \sum_i N_i \langle \alpha \rangle_i} \quad \dots \text{〔数1〕}$$

[0031] Here, the molecularity of the molecular species  $i$  by which nickel is contained in  $1\text{ cm}^3$  of material, and  $\langle \alpha \rangle_i$  are the average polarizability of molecular species  $i$ ,  $V$  is a unit volume ( $1\text{ cm}^3$ ), and it means taking the sum of the right-hand side about the kind of molecule which constitutes material.

[0032] Light is confined in a high refractive-index field when the field where refractive indexes differ generally exists in the interior of material. Moreover, when the high refraction field serves as a waveguide configuration, light spreads the interior of a field (core). Therefore, an optical waveguide can be formed in the interior of material by carrying out induction of the refractive-index difference. The process of the optical waveguide which uses an exposure portion as a core is indicated by JP,6-317819,A and JP,7-181530,A using the polarizability of a photochromic molecule increasing by the photoreaction. However, by these methods, there was a problem referred to as being unable to form a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0033] On the other hand, the photoreaction is usually triggered by exciting the electronic state of a molecule, and, usually excitation energy changes with molecules. Therefore, when two or more sorts of molecules in which polarizability increases by optical irradiation exist in the interior of material, the light of the wavelength equivalent to the excitation energy of the molecule made into the purpose for every exposure can be irradiated, and the refractive index of material can be increased. Furthermore, the multiplex exposure section has the feature referred to as having a bigger refractive index than the portion which received fewer number-of-times exposure in this case.

[0034] Then, as the refractive index of material increased for every exposure, it enabled it to form the optical waveguide which contains a high refractive-index intersection optical waveguide by multiplex exposure in this invention by distributing at least two sorts of molecules in which polarizability increases by optical irradiation in the high refractive-index macromolecule layer of the charge of optical wiring material of this invention.

[0035] That is, in this invention, when producing the intersection optical waveguide of drawing 1, it can produce by exposing the portions of a core 2 and a core 3 by light wave length different, respectively, and the refractive index of the intersection 1 which is the double exposure section can be made larger than the refractive index of cores 2 and 3. Thus, according to the optical wiring material of this invention, by the former, the high refractive-index intersection optical waveguide which has not been produced is easily producible.

[0036] Furthermore, according to this invention, it is also possible to produce a three-fold high refractive-index intersection optical waveguide as similarly shown in drawing 3. In this case, the light which spreads cores 18, 19, and 20 spreads each incore section, without leaking to other core portions by the intersection 17.

[0037] Moreover, the charge of optical wiring material of this invention can consist of specific wavelength as a molecule in which polarizability increases by optical irradiation using the photochromic molecule which causes a photoisomerization reaction. The photochromic molecular structure absorbs the light of wavelength peculiar to a molecule, the molecular structure isomerizes it, and it has the feature which says that a conjugate chain length is extended and

polarizability increases as indicated by the edited by Chemical Society of Japan "chemistry of organic photochromism" (Japan Scientific Societies Press, 1996).

[0038] As a photochromic molecule, there are spirobenzopyran and its derivative, SUPIRO naphth oxazine and its derivative, a thio SUPIRO pyran and its derivative, a fulgide molecule and its derivative, a diaryl ethene system molecule, etc., and since especially a fulgide molecule derivative and a diaryl ethene system molecule are excellent in light stability and thermal stability, they are suitable for the charge of optical wiring material of this invention, as indicated by "chemistry of organic photochromism."

[0039] A photochromic molecule can be divided roughly into two kinds, the molecule which absorbs ultraviolet radiation and causes a reaction, and the molecule which absorbs the light and reacts. Although almost all the photochromic molecule absorbs ultraviolet radiation with a wavelength of 400nm or less and a photoisomerization reaction is caused, the diaryl ethene derivative which has a maleic-acid anhydride machine in the ethene section absorbing the light whose wavelength is 488nm, and causing a photoisomerization reaction is known.

[0040] Therefore, the charge of optical wiring material of this invention can produce the fulgide system photograph molecule shown by the diaryl ethene system photochromic molecule indicated to be the diaryl ethene derivative shown in the interior of the high refractive-index macromolecule layer by aforementioned [-izing 1]- [-izing 3] by aforementioned [-izing 4]- [-izing 6] reacted to ultraviolet radiation or the above [-izing 7], and [-izing 8] by distributing in polymeric materials.

[0041] Although the optical wiring material of this invention is the multilayer of organic polymeric materials That what is necessary is just what has high transparency to waveguide light as these organic polymeric materials For example, a polymethyl methacrylate (PMMA), a polycarbonate (PC), Polydiethylene glycol bisallyl carbonate (CR-39), (Polystyrene PS) styrene / methyl-methacrylate copolymer (MS resin), Acrylonitrile / styrene copolymer (AS resin), polymethacrylic-acid cyclohexyl (PCHMA), Poly (4-methyl pentene -1) (TPX), a tetrafluoroethylene / hexafluoropropylene copolymer, A polytetrafluoroethylene, polymethacrylic-acid truffle RUORO ethylene, Poly (methacrylic-acid-2-chloro ethyl), poly (methacrylic-acid-2-BUROMO ethyl), A polymethacrylic-acid benzyl, a polymethacrylic-acid phenyl, the poly diallyl phthalate, Poly (methacrylic-acid-p-BUROMO phenyl), polymethacrylic-acid pentachlorophenyl, The fluorine substitution PMMA which carried out the fluoridation of all of the hydrogen atom of poly (o-chloro styrene), poly (methacrylic-acid naphthyl), and the heavy hydrogen substitution PMMA and PMMA that deuterated all the hydrogen atoms of PMMA, such mixture, etc. can be used.

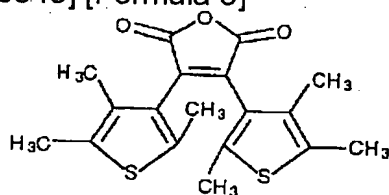
[0042] [Example] this invention is concretely explained based on an example. The following examples 1-3 are the basic forms of this invention produced using the photochromic molecule of the above [-izing 1] and [-izing 7], and examples 4-9 show the example of the optical wiring material of this invention which used photochromic molecules other than [-izing 1] and [-izing 7].

[0043] [Example 1] The example of production of the high refractive-index intersection optical waveguide a part of whose clad by this invention is an air space is described.

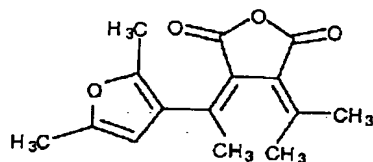
[0044] The fluorine substitution PMMA which replaced all the hydrogen atoms of PMMA by the fluorine atom was dissolved in the isobutyl ketone, and the solution was prepared 20% of the weight. Using this solution, by spin coat membrane formation (for rotational frequency 2000rpm and 30 seconds), the fluorine substitution PMMA thin film (30mm of thickness) was formed on the glass substrate 22 shown in drawing 4, it was made to dry completely and the lower clad layer 23 of a waveguide was formed.

[0045] Next, the diaryl ethene system photochromic molecule shown by [-izing 9] during the fluorine substitution PMMA and the fulgide system photochromic molecule shown by [-izing 10] were distributed 15% of the weight, respectively, this was dissolved into the chlorobenzene, and the solution was prepared 20% of the weight. Here, as for the molecule of [-izing 9], in [-izing 1], R1, R2, and R3 are [ three CH(s) and X1 ] the molecules of S atom, as for the molecule of [-izing 10], in [-izing 7], R11 is three CH(s) and X4 is the molecule of O atom.

[0046] [Formula 5]



... [化 9]



... [化 10]

[0047] Using this solution, by spin coat membrane formation (for rotational frequency 1300rpm and 15 seconds), formed the fluorine substitution PMMA thin film (10mm of thickness) containing a photochromic molecule on the aforementioned lower clad layer 23, and it was made to dry completely, and considered as the core layer 24 of this example waveguide. Consequently, the charge of optical wiring material of two-layer structure was obtained on the glass substrate 22.

[0048] Based on the optical wiring method of this invention, the intersection optical waveguide shown in drawing 4 was produced using the above-mentioned charge of optical wiring material.

[0049] First, irradiated the light with a wavelength [ of an Ar ion laser ] of 488nm using the exposure mask which has a straight-line-like slit, the photochromic molecule of the [-izing 9] currently distributed in the aforementioned core layer 24 was made to react, and the straight-line-like waveguide core 25 was produced by increasing the refractive index of the irradiated section.

[0050] Then, have arranged the slit of an exposure mask so that the aforementioned waveguide core 25 may be intersected, and irradiated ultraviolet radiation with a wavelength [of excimer laser pump dye laser] of 360nm, the photochromic molecule of [-izing 10] was made to react, and the 2nd waveguide core 26 which



intersects the above-mentioned core 25 was formed into the core layer 24. Consequently, the intersection optical waveguide of the shape of X character shown in drawing 4 was obtained. In addition, the clad of an intersection optical waveguide is the non-exposing section and the air space of the core layers 23 and 24.

[0051] The end face of a quartz glass fiber core (illustration ellipsis) was directly joined to the produced end face of A and B of the intersection optical-waveguide cores 25 and 26, by making light guide to glass fiber, the optical input was carried out at the aforementioned cores 25 and 26, and the waveguide property of an intersection optical waveguide was investigated. That is,  $I_a$  and  $I_b$  at the time of carrying out incidence of the input light B to the intensity  $I_a$  of the output light a at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 26, the intensity  $I_b$  of the output light b, and a core 25 were measured, respectively. Measurement coupled directly 10mW of outputs, and semiconductor laser with a wavelength of 1.3mm with quartz glass fiber, and measured  $I_a$  and  $I_b$  by the photo multiplier.

[0052] Consequently,  $I_a/I_b$  when  $I_b/I_a$  at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 26 carries out incidence of the incident light B to about 0 core 25 was about 0 similarly. That is, in the intersection optical waveguide of this example, the light to which the light which guides a core 25 guides a core 26 to a core 26 did not leak to the core 25, but it turns out that the intersection optical waveguide of this example functions as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0053] [Example 2] this example describes the example of the high refractive-index intersection optical waveguide whose clad is a macromolecule layer.

[0054] On the glass substrate 27 which shows the 20 % of the weight solution (solution 1) of isobutyl ketones of the fluorine substitution PMMA used in the example 1 to drawing 5 by spin coat membrane formation (for rotational frequency 2000rpm and 30 seconds), the fluorine substitution PMMA thin film (30mm of thickness) was formed, it was made to dry completely and the lower clad layer 28 of a waveguide was formed.

[0055] The photochromic molecule of [-izing 9] and [-izing 10] was distributed at 15 % of the weight during the fluorine substitution PMMA like the example 1, respectively, this was dissolved into the chlorobenzene, and the solution was prepared 20% of the weight. Using this solution, by spin coat membrane formation (for rotational frequency 1300rpm and 15 seconds), formed the fluorine substitution PMMA thin film (10mm of thickness) containing a photochromic molecule on the aforementioned lower clad layer 28, and it was made to dry completely, and considered as the core layer 29 of a waveguide.

[0056] Subsequently, using the above-mentioned solution 1, by spin-coat membrane formation (for rotational frequency 2000rpm and 30 seconds), the fluorine substitution PMMA thin film (30mm of thickness) was formed on the above-mentioned core layer 29, it was made to dry completely and the up clad layer 30 was formed. This obtained the charge of optical wiring material of a three-tiered structure on the glass substrate 27.

[0057] Next, based on this invention method light wiring method, the intersection optical waveguide shown in drawing 5 was produced using the above-mentioned charge of optical wiring material.

[0058] First, irradiate the light with a wavelength [of an Ar ion laser] of 488nm using the exposure mask which has a straight-line-like slit, the photochromic molecule of [-izing 4] in the core layer 29 by which the photochromic molecule of the above [-izing 4] and [-izing 5] is distributed was made to react, the refractive index of the irradiated section was increased, and the straight-line-like waveguide core 31 was formed.

[0059] Then, the slit of an exposure mask has been arranged so that the aforementioned waveguide core 31 may be intersected, ultraviolet radiation with a wavelength [of excimer laser pump dye laser] of 360nm was irradiated, the 2nd core 32 which intersects the core 31 formed previously was formed into the core layer 29, and the intersection optical waveguide shown in drawing 5 was obtained. In addition, the clad of the intersection optical waveguide of this example is the non-exposing section of 28, 30, and 29.

[0060] The end face of the core (illustration abbreviation) of quartz glass fiber was directly joined to the above-mentioned intersection optical-waveguide cores 32 and 31A and B end face, by making light guide to glass fiber, the optical input was carried out at the aforementioned cores 32 and 31, and the waveguide property of an intersection optical waveguide was investigated. That is, Ia and Ib at the time of carrying out incidence of the input light B to the intensity Ia of the output light a at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 32, the intensity Ib of the output light b, and a core 31 were measured. Measurement measured Ia and Ib by the photo multiplier like the example 1.

[0061] Consequently, Ia/Ib when Ib/Ia at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 32 carries out incidence of the input light B to about 0. core 31 was about 0 similarly, by the intersection optical waveguide, the waveguide light of a core 32 did not leak to the core 31, and the waveguide light of a core 31 did not leak to the core 32.

[0062] [Example 3] this example attaches and describes to the example of production of 3-fold intersection optical waveguide.

[0063] The charge of optical wiring material of this invention which has a three-tiered structure like an example 2 as shown in drawing 6 was formed on glass machine 33 boards.

[0064] 3-fold intersection optical waveguide was formed in the above-mentioned charge of optical wiring material in the following procedures. The exposure mask of a X shape was used first, irradiate the light with a wavelength [of an Ar ion laser] of 488nm at the charge of optical wiring material, the photochromic molecule of the [-izing 9] currently distributed in the fluorine substitution PMMA thin film of the core layer 35 was made to react, the refractive index of the irradiated section was increased, and the core 37 of the intersection optical waveguide of a X shape was formed in the core layer 35.

[0065] Then, the straight-line-like slit of an exposure mask arranges so that the intersection of the intersection optical-waveguide core 37 formed previously may be crossed, and it irradiates ultraviolet radiation with a wavelength [of excimer laser pump dye laser] of 360nm. The photochromic molecule of the [-izing 10] currently similarly distributed in the fluorine substitution PMMA thin film of the above-mentioned core layer 35 was made to react, and the 2nd waveguide core

38 containing the intersection of the intersection optical-waveguide core 37 formed previously was formed into the core layer 35. This obtained the intersection optical waveguide of drawing 6.

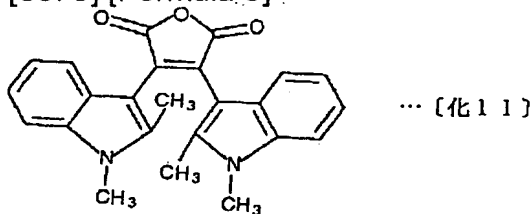
[0066] In addition, 34 and 36 are fluorine substitution PMMA thin films, and the clad of the intersection optical waveguide of this example consists of 34, the non-exposing section of 35, and 36.

[0067] The core end face of quartz glass fiber (illustration abbreviation) was directly joined to the end face (A, B, C) of the formed intersection optical-waveguide cores 37 and 38 like the aforementioned example 1, the optical input was carried out at the above-mentioned core, and the waveguide property of the aforementioned intersection optical waveguide was investigated. That is, Ia, Ib, and Ic at the time of carrying out incidence of the incident light C to Ia, Ib, Ic, and the core 37 at the time of carrying out incidence of the input light B to the intensity Ia, Ib, and Ic of the output light a, b, and c at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 37 and a core 38 were measured.

[0068] Consequently, Ia/Ib and Ic/Ib at the time of carrying out incidence of the incident light B to Ib/Ia, and the Ic/Ia about 0 core 38 at the time of carrying out incidence of the input light A to a core 37 were also about 0 similarly. Moreover, optical leakage was not produced to a mutual core by 3-fold intersection in Ia/Ic and Ib/Ic 0 [ about ] at the time of carrying out incidence of the input light C to a core 37.

[0069] [Example 4] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 11] which starts isomerization by light irradiation, and the fulgide system photochromic molecule of the [-izing 10] which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0070] [Formula 6]



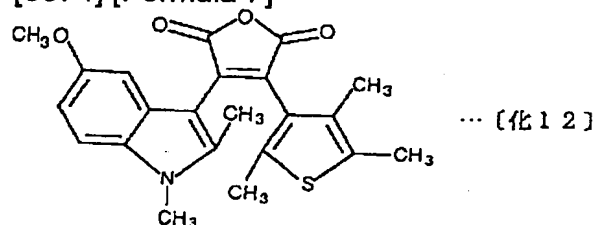
[0071] As for the molecule of [-izing 11], in the above [-izing 2], R1 is a hydrogen atom and the photochromic molecule three CH(s) and whose X R3 is three NCH(s).

[0072] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0073] [Example 5] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 12] which starts isomerization by light irradiation, and the fulgide system photochromic molecule of the [-izing 10]

which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0074] [Formula 7]

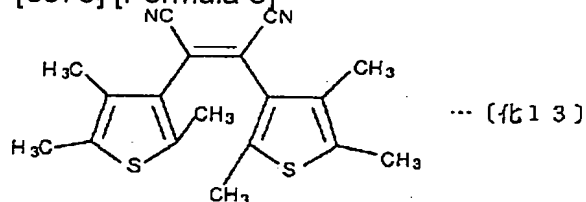


[0075] For R1, R3, and R4, in the above [-izing 3], three CH(s) and X of the molecule of [-izing 12] are [ three NCH(s) and Y ] S atom and the molecule whose R5 is CH3O set.

[0076] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0077] [Example 6] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 9] which starts isomerization by light irradiation, and the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 13] which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0078] [Formula 8]

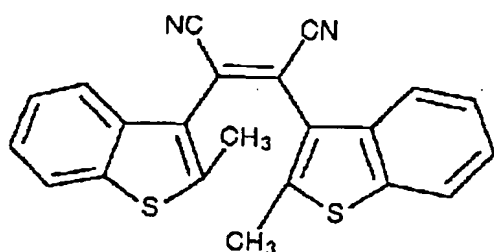


[0079] As for the molecule of [-izing 13], in the above [-izing 4], R6, R7, and R9 are [ three CH(s) and R8 ] a cyano group and the molecule whose X1 is S atom.

[0080] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0081] [Example 7] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 9] which starts isomerization by light irradiation, and the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 14] which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0082] [Formula 9]



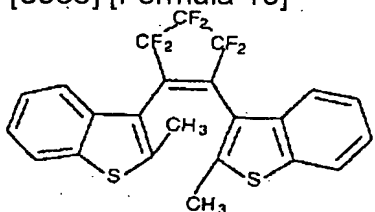
... [化 1 4]

[0083] As for the molecule of [-izing 14], in the above [-izing 5], R9 is [ three CH(s) and R10 ] a cyano group and the molecule whose X2 is S atom.

[0084] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0085] [Example 8] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 9] which starts isomerization by light irradiation, and the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 15] which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0086] [Formula 10]



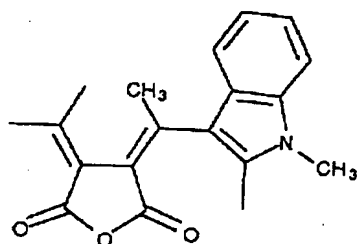
... [化 1 5]

[0087] The molecule of [-izing 15] is a molecule whose X3 R9 is three CH(s) and is S atom in the above [-izing 6].

[0088] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0089] [Example 9] The charge of optical wiring material of two-layer structure was formed on the glass substrate like the example 1 using the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 9] which starts isomerization by light irradiation, and the diaryl ethene system photochromic molecule of the [-izing 16] which starts isomerization by ultraviolet radiation irradiation.

[0090] [Formula 11]



... [化 16]

[0091] As for the molecule of [izing 16], in the above [izing 8], R11 is [ three CH(s) and R12 ] a hydrogen atom and the molecule whose X5 is three NCH(s).

[0092] The intersection optical waveguide of drawing 4 was formed to this charge of optical wiring material by irradiating an Ar ion laser and an excimer laser one by one like an example 1. As a result of measuring the optical-transmission property of the formed waveguide like an example 1, it checked having the property which was excellent as a high refractive-index intersection optical waveguide.

[0093] [Example of comparison] The fluorine substitution PMMA thin film (30mm of thickness) was formed on the glass substrate like the example 1. Next, the fulgide derivative photochromic molecule of [izing 10] was distributed 15% of the weight during the fluorine substitution PMMA, this was dissolved into the chlorobenzene, and the solution was prepared 20% of the weight.

[0094] This solution was applied to the aforementioned fluorine substitution PMMA thin film, and it considered as the thin film of 10mm of thickness by the spin coat method (for rotational frequency 1300rpm and 15 seconds), and it was made to dry completely and considered as the core layer. To the macromolecule thin film of this two-layer structure; using the exposure mask which has a straight-line-like slit, ultraviolet radiation with a wavelength [of excimer laser pump dye laser] of 360nm was irradiated, and the straight-line-like waveguide core was formed into the aforementioned core layer.

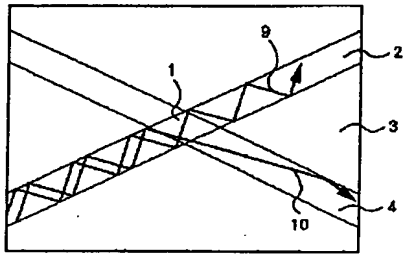
[0095] Then, the slit of an exposure mask has been arranged in the form which intersects the above-mentioned core, 360nm ultraviolet radiation was irradiated similarly, the 2nd core was formed, and the analogous intersection optical waveguide was formed in drawing 4.

[0096] The waveguide property of the waveguide light of the formed intersection waveguide was investigated like the example 1. Consequently, it turns out that the leakage of light takes place by the intersection, and the formed waveguide does not have a function as a high refractive-index intersection optical waveguide. <BR>

[0097] [Effect of the Invention] Being able to form easily the optical waveguide containing the high refractive-index intersection optical waveguide produced by the optical wiring method of this invention by using an organic material as aforementioned using the charge of optical wiring material of this invention, the waveguide property of the waveguide light has the outstanding property.

[0098] Moreover, the optical waveguide using the organic material is cheap, and since enlargement is also easy, required optical wiring is realizable as an object for optical interconnections which connects between electron devices with optical communication.

図 1



1...交差部 2...コア 3...クラッド  
9...導波光 10...漏洩光

図 2

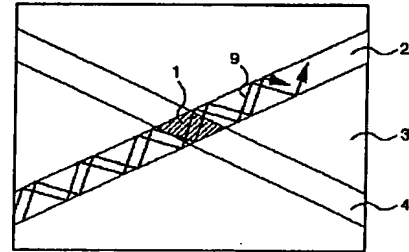
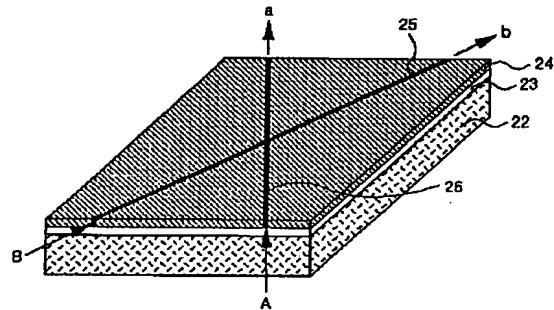


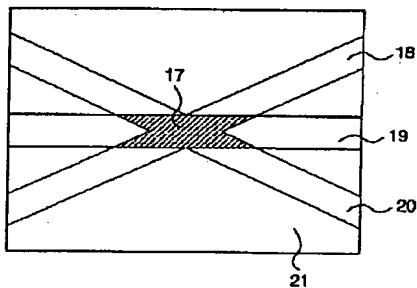
図 4



22...ガラス基板 23...下部クラッド層  
24...コア層 25, 26...コア

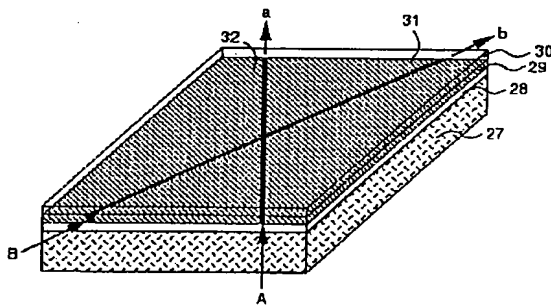
図 6

図 3

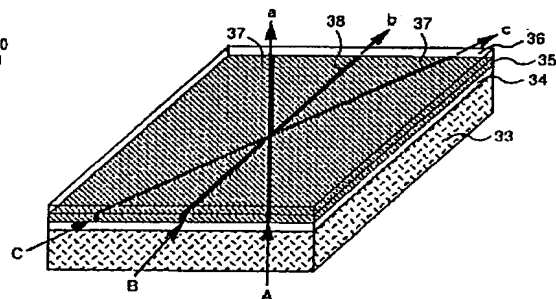


17...交差部 18, 19, 20...コア 21...クラッド

図 5



27...基板 28...下部クラッド層 29...コア層  
30...上部クラッド層 31, 32...コア



33...基板 34...下部クラッド層 35...コア層  
36...上部クラッド層 37, 38...コア